

传导与辐射超标整改方案

开关电源电磁干扰的产生机理及其传播途径

功率开关器件的高额开关动作是导致开关电源产生电磁干扰(EMI)的主要原因。开关频率的提高一方面减小了电源的体积和重量,另一方面也导致了更为严重的EMI问题。开关电源工作时,其内部的电压和电流波形都是在非常短的时间内上升和下降的,因此,开关电源本身是一个噪声发生源。开关电源产生的干扰,按噪声干扰源种类来分,可分为尖峰干扰和谐波干扰两种;若按耦合通路来分,可分为传导干扰和辐射干扰两种。使电源产生的干扰不至于对电子系统和电网造成危害的根本办法是削弱噪声发生源,或者切断电源噪声和电子系统、电网之间的耦合途径。现在按噪声干扰源来分别说明:

1、二极管的反向恢复时间引起的干扰

交流输入电压经功率二极管整流桥变为正弦脉动电压,经电容平滑后变为直流,但电容电流的波形不是正弦波而是脉冲波。由电流波形可知,电流中含有高次谐波。大量电流谐波分量流入电网,造成对电网的谐波污染。另外,由于电流是脉冲波,使电源输入功率因数降低。

高频整流回路中的整流二极管正向导通时有较大的正向电流流过,在其受反偏电压而转向截止时,由于PN结中有较多的载流子积累,因而在载流子消失之前的一段时间里,电流会反向流动,致使载流子消失的反向恢复电流急剧减少而发生很大的电流变化(di/dt)。

2、开关管工作时产生的谐波干扰

功率开关管在导通时流过较大的脉冲电流。例如正激型、推挽型和桥式变换器的输入电流波形在阻性负载时近似为矩形波,其中含有丰富的谐波分量。当采用零电流、零电压开关时,这种谐波干扰将会很小。另外,功率开关管在截止期间,高频变压器绕组漏感引起的电流突变,也会产生尖峰干扰。

3、交流输入回路产生的干扰

无工频变压器的开关电源输入端整流管在反向恢复期间会引起高频衰减振荡产生干扰。开关电源产生的尖峰干扰和谐波干扰能量,通过开关电源的输入输出线传播出去而形成的干扰称之为传导干扰;而谐波和寄生振荡的能量,通过输入输出线传播时,都会在空间产生电场和磁场。这种通过电磁辐射产生的干扰称为辐射干扰。

4、其他原因

元器件的寄生参数,开关电源的原理图设计不够完美,印刷线路板(PCB)走线通常采用手工布置,具有很大的随意性,PCB的近场干扰大,并且印刷板上器件的安装、放置,以及方位的不合理都会造成EMI干扰。这增加了PCB分布参数的提取和近场干扰估计的难度。

Flyback 架构 noise 在频谱上的反应

0.15 MHz 处产生的振荡是开关频率的 3 次谐波引起的干扰。

0.2 MHz 处产生的振荡是开关频率的 4 次谐波和 Mosfet 振荡 2 (190.5KHz) 基波的迭加,引起的干扰;所以这部分较强。

0.25 MHz 处产生的振荡是开关频率的 5 次谐波引起的干扰;

0.35 MHz 处产生的振荡是开关频率的 7 次谐波引起的干扰;

0.39 MHz 处产生的振荡是开关频率的 8 次谐波和 Mosfet 振荡 2 (190.5KHz) 基波的迭加引起的干扰;

1.31MHz 处产生的振荡是 Diode 振荡 1 (1.31MHz) 的基波引起的干扰;

3.3 MHz 处产生的振荡是 Mosfet 振荡 1 (3.3MHz) 的基波引起的干扰;

开关管、整流二极管的振荡会产生较强的干扰

设计开关电源时防止 EMI 的措施:

1. 把噪音电路节点的 PCB 铜箔面积最大限度地减小;如开关管的漏极、集电极,初次级绕组的节点,等。

2. 使输入和输出端远离噪音元件,如变压器线包,变压器磁芯,开关管的散热片,等等。

3. 使噪音元件（如未遮蔽的变压器线包，未遮蔽的变压器磁芯，和开关管，等等）远离外壳边缘，因为在正常操作下外壳边缘很可能靠近外面的接地线。
4. 如果变压器没有使用电场屏蔽，要保持屏蔽体和散热片远离变压器。
5. 尽量减小以下电流环的面积：次级（输出）整流器，初级开关功率器件，栅极（基极）驱动线路，辅助整流器。
6. 不要将门极（基极）的驱动反馈环路和初级开关电路或辅助整流电路混在一起。
7. 调整优化阻尼电阻值，使它在开关的死区时间里不产生振铃响声。
8. 防止 EMI 滤波电感饱和。
9. 使拐弯节点和 次级电路的元件远离初级电路的屏蔽体或者开关管的散热片。
10. 保持初级电路的摆动的节点和元件本体远离屏蔽或者散热片。
11. 使高频输入的 EMI 滤波器靠近输入电缆或者连接器端。
12. 保持高频输出的 EMI 滤波器靠近输出电线端子。
13. 使 EMI 滤波器对面的 PCB 板的铜箔和元件本体之间保持一定距离。
14. 在辅助线圈的整流器的线路上放一些电阻。
15. 在磁棒线圈上并联阻尼电阻。
16. 在输出 RF 滤波器两端并联阻尼电阻。
17. 在 PCB 设计时允许放 $1nF/500V$ 陶瓷电容器或者还可以是一串电阻，跨接在变压器的初级的静端和辅助绕组之间。
18. 保持 EMI 滤波器远离功率变压器；尤其是避免定位在绕包的端部。
19. 在 PCB 面积足够的情况下，可在 PCB 上留下放屏蔽绕组用的脚位和放 RC 阻尼器的位置，RC 阻尼器可跨接在屏蔽绕组两端。
20. 空间允许的话在开关功率场效应管的漏极和门极之间放一个小径向引线电容器（米勒电容， $10pF/1kV$ 电容）。
21. 空间允许的话放一个小的 RC 阻尼器在直流输出端。
22. 不要把 AC 插座与初级开关管的散热片靠在一起。

开关电源 EMI 的特点

作为工作于开关状态的能量转换装置，开关电源的电压、电流变化率很高，产生的干扰强度较大；干扰源主要集中在功率开关期间以及与之相连的散热器和高压变压器，相对于数字电路干扰源的位置较为清楚；开关频率不高（从几十千赫和数兆赫兹），主要的干扰形式是传导干扰和近场干扰；而印刷线路板（PCB）走线通常采用手工布线，具有更大的随意性，这增加了 PCB 分布参数的提取和近场干扰估计的难度。

1MHZ 以内——以差模干扰为主，增大 X 电容就可解决

1MHZ——5MHZ——差模共模混合，采用输入端并一系列 X 电容来滤除差模干扰并分析出是哪种干扰超标并解决；

5M——以上以共模干扰为主，采用抑制共模的方法。对于外壳接地的，在地线上用一个磁环绕 2 圈会对 10MHZ 以上干扰有较大的衰减(diudiu2006)；对于 25—30MHZ 不过可以采用加大对地 Y 电容、在变压器外面包铜皮、改变 PCB LAYOUT、输出线前面接一个双线并绕的小磁环，最少绕 10 圈、在输出整流管两端并 RC 滤波器。

30——50MHZ 普遍是 MOS 管高速开通关断引起，可以用增大 MOS 驱动电阻，RCD 缓冲电路采用 1N4007 慢管，VCC 供电电压用 1N4007 慢管来解决。

100——200MHZ 普遍是输出整流管反向恢复电流引起，可以在整流管上串磁珠

100MHz—200MHz 之间大部分出于 PFC MOSFET 及 PFC 二极管，现在 MOSFET 及 PFC 二极管串磁珠有效果，水平方向基本可以解决问题，但垂直方向就很无奈了

开关电源的辐射一般只会影响到 100M 以下的频段。也可以在 MOS，二极管上加相应吸收回路，但效率会有所降低。

1MHZ 以内——以差模干扰为主

1. 增大 X 电容量；

2. 添加差模电感；

3. 小功率电源可采用 PI 型滤波器处理(建议靠近变压器的电解电容可选用较大些)。

1MHZ---5MHZ---差模共模混合，

采用输入端并联一系列 X 电容来滤除差模干扰并分析出是哪种干扰超标并以解决，

1. 对于差模干扰超标可调整 X 电容量,添加差模电感器，调差模电感量；
2. 对于共模干扰超标可添加共模电感,选用合理的电感量来抑制；
3. 也可改变整流二极管特性来处理一对快速二极管如FR107 一对普通整流二极管 1N4007。

5M---以上以共模干扰为主，采用抑制共模的方法。

对于外壳接地的，在地线上用一个磁环串绕 2-3 圈会对 10MHZ 以上干扰有较大的衰减作用;可选择紧贴变压器的铁芯粘铜箔，铜箔闭环. 处理后端输出整流管的吸收电路和初级大电路并联电容的大小。

对于 20--30MHZ，

1. 对于一类产品可以采用调整对地 Y2 电容量或改变 Y2 电容位置；
2. 调整一二次侧间的 Y1 电容位置及参数值；
3. 在变压器外面包铜箔；变压器最里层加屏蔽层；调整变压器的各绕组的排布。
4. 改变 PCB LAYOUT；
5. 输出线前面接一个双线并绕的小共模电感；
6. 在输出整流管两端并联 RC 滤波器且调整合理的参数；
7. 在变压器与 MOSFET 之间加 BEAD CORE；
8. 在变压器的输入电压脚加一个小电容。
9. 可以用增大 MOS 驱动电阻。

30---50MHZ 普遍是 MOS 管高速开通关断引起，

1. 可以用增大 MOS 驱动电阻；
2. RCD 缓冲电路采用 1N4007 慢管；
3. VCC 供电电压用 1N4007 慢管来解决；
4. 或者输出线前端串接一个双线并绕的小共模电感；
5. 在 MOSFET 的 D-S 脚并联一个小吸收电路；
6. 在变压器与 MOSFET 之间加 BEAD CORE；
7. 在变压器的输入电压脚加一个小电容；
8. PCB 心 LAYOUT 时大电解电容，变压器，MOS 构成的电路环尽可能的小；
9. 变压器，输出二极管，输出平波电解电容构成的电路环尽可能的小。

50---100MHZ 普遍是输出整流管反向恢复电流引起，

1. 可以在整流管上串磁珠；
2. 调整输出整流管的吸收电路参数；
3. 可改变一二次侧跨接 Y 电容支路的阻抗,如 PIN 脚处加 BEAD CORE 或串接适当的电阻；
4. 也可改变 MOSFET,输出整流二极管的本体向空间的辐射(如铁夹卡 MOSFET；铁夹卡 DIODE,改变散热器的接地点)。
5. 增加屏蔽铜箔抑制向空间辐射。

200MHZ 以上 开关电源已基本辐射量很小，一般可过 EMI 标准。

传导方面 EMI 对策

传导冷机时在 0.15-1MHZ 超标，热机时就有 7DB 余量。主要原因是初级 BULK 电容 DF 值过大造成的，冷机时 ESR 比较大，热机时 ESR 比较小，开关电流在 ESR 上形成开关电压，它会压在一个电流 LN 线间流动，这就是差模干扰。

解决办法是用 ESR 低的电解电容或者在两个电解电容之间加一个差模电感。.....

辐射方面 EMI 对策

辐射在 30~300MHz 频段内出现宽带噪声超标

通过在电源线上增加去耦磁环（可开合）进行验证，如果有改善则说明和电源线有关系，采用以下整改方法：如果设备有一体化滤波器，检查滤波器的接地是否良好，接地线是否尽可能短；

金属外壳的滤波器的接地最好直接通过其外壳和地之间的大面积搭接。检查滤波器的输入、输出线是否互相靠近。适当调整 X/Y 电容的容值、差模电感及共模扼流圈的感量；调整 Y 电容时要注意安全问题；改变参数可能会改善某一段的辐射，但是却会导致另外频度变差，所以需要不断的试，才能找到最好的组合。适当增大触发极上的电阻值不失为一个好办法；也可在开关管晶体管的集电极（或者是 MOS 管的漏极）或者是次级输出整流管对地接一个小电容也可以有效减小共模开关噪声。开关电源板在 PCB 布线时一定要控制好各回路的回流面积，可以大大减小差模辐射。在 PCB 电源走线中增加 104/103 电容为电源去耦；在多层板布线时要求电源平面和地平面紧邻；在电源线上套磁环进行比对验证，以后可以通过在单板上增加共模电感来实现，或者在电缆上注塑磁环。输入 AC 线的 L 线的长度尽量短；

屏蔽设备内部，孔缝附近是否有干扰源；结构件搭接处是否喷有绝缘漆，采用砂布将绝缘漆擦掉，作比较试验。检查接地螺钉是否喷有绝缘漆，是否接地良好。